

**Список литературы:**

1. Карандей В.Ю. Управляемый каскадный электрический привод с жидкостным токобменом / В.Ю. Карандей, Б.К. Попов // Патент на изобретение № 2461947 зарегистрировано 20.09.2012 г.
2. Попов Б.К. Управляемый каскадный асинхронный электропривод с общим ротором/ Попов Б.К., Попова О.Б. // Патент на изобретение № 2556862 зарегистрировано 21.07.2014 г.
3. Шмитц Н. Введение в электромеханику [Текст] /Н. Шмитц, Д. Новотный// – Пер. с англ. – М.: Энергия, 1969. – 336 с.
4. Вольдек А.И. Электрические машины [Текст] /А.И. Вольдек// – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
5. Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах [Текст] / В.И. Киреев, А.В. Пантелеев. – М.: Высш. шк., 2004. – 480 с.
6. Даффин Р. Геометрическое программирование [Текст] /Р. Даффин, Э. Питерсон, К. Зенер// – Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 311 с.
7. Попова О.Б. Математическое моделирование и оптимизация специальных электромеханических систем :Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 [Текст] /О.Б. Попова// – Краснодар, 2002. – 214 с.
8. Карандей В.Ю. Математическое моделирование специальных электрических приводов для оборудования нефтегазовой отрасли / В.Ю. Карандей, В.Л. Афанасьев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – №08(132). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/08/pdf/72.pdf> , 0,978 у.п.л. – IDA [article ID]: 1321708072. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-132-072>
9. Popova O. Optimetl: software for selecting the optimal method Popova O., Popov B., Romanov D., Evseeva M. SoftwareX. 2017. T. 6. C. 231-236.
10. Попов Б.К. Интеллектуальное микропроцессорное устройство автоматического управления приборами/ Попов Б.К., Попова О.Б., Ключко В.И.// Патент на изобретение № 2542881 зарегистрировано 30.10.2012г.

**СРЕДСТВА И УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

*Ткачев А.К., Майков Р.А.*

*Научный руководитель: Кладиев С.Н., к.т.н., доцент каф. ЭПЭО ЭНИИ*

***Общие понятия о релейной защите. Назначение устройств РЗА.***

Релейная защита является основным видом электрической автоматики, без которой невозможна нормальная и надежная работа современных энергетических систем. Она осуществляет непрерывный контроль за состоянием и режимом работы всех элементов энергосистемы и реагирует на возникновение повреждений и ненормальных режимов. (Ненормальные режимы: Перегрузка оборудования, вызванная сверхтоком, т. е. увеличением тока сверх номинального значения). При возникновении ненормальных режимов защита выявляет их и в зависимости от

характера нарушения производит операции, необходимые для восстановления нормального режима, или подает сигнал дежурному персоналу.

В современных электрических системах релейная защита тесно связана с электрической автоматикой, предназначенной для быстрого автоматического восстановления нормального режима и питания потребителей.

К основным устройствам такой автоматики относятся: автоматы повторного включения (АПВ), автоматы включения резервных источников питания и оборудования (АВР) и автоматы частотной разгрузки (АЧР).

## ***2. Виды повреждений, возникающие в электрических установках.***

Рассмотрим более подробно основные виды повреждений и ненормальных режимов, возникающих в электрических установках, и их последствия.

В энергетических системах на электрооборудовании электростанций, в электрических сетях и на электроустановках потребителей электроэнергии могут возникать повреждения и ненормальные режимы. Повреждения в большинстве случаев сопровождаются значительным увеличением тока и глубоким понижением напряжения в элементах энергосистемы.

Повышенный ток выделяет большое количество тепла, вызывающее разрушения в месте повреждения и опасный нагрев неповрежденных линий и оборудования, по которым этот ток проходит.

Понижение напряжения нарушает нормальную работу потребителей электроэнергии и устойчивость параллельной работы генераторов и энергосистемы в целом.

Качания возникают при нарушении синхронной работы генераторов электростанций ЭЭС.

Асинхронный режим. К ненормальным режимам относится также работа синхронного генератора без возбуждения [на-пример, при отключении автомата гашения поля (АГП)]. При работе в асинхронном режиме увеличивается частота вращения генератора и возникает пульсация тока статора.

Ненормальные режимы обычно приводят к отклонению величин напряжения, тока и частоты от допустимых значений. Опасные последствия ненормальных режимов также можно предотвратить, если своевременно обнаружить отклонение от нормального режима и принять меры к его устранению (например; снизить ток при его возрастании, повысить напряжение при его снижении и т. д.).

В связи с этим и возникает необходимость в создании и применении автоматических устройств, выполняющих указанные операции и защищающих систему и ее элементы от опасных последствий повреждений и ненормальных режимов.

### ***Структурные части основные элементы.***

Измерительная часть (ИЧ) осуществляет непрерывный контроль за состоянием защищаемого объекта и, реагируя на появление в нем повреждений (или ненормального режима), срабатывает и выдает дискретные сигналы на вход логической части (ЛЧ), приводящие ее в действие.

Логическая часть (ЛЧ) воспринимает дискретные сигналы ИЧ, производит с помощью логических элементов (реле) по заданной программе логические операции и подает выходной сигнал о срабатывании РЗ на управляющую часть (УЧ).

Управляющая (исполнительная) часть (УЧ) служит для усиления сигнала ЛЧ до значения, необходимого для отключения выключателя и приведения в действие других устройств, поскольку сигналы ЛЧ (особенно при выполнении ее на

полупроводниковых элементах) обычно имеют недостаточную мощность, и для размножения сигнала ЛЧ.

Источник питания (ИП). Для приведения в действие элементов ЛЧ и УЧ, подачи команды на отключение выключателей, а также для питания полупроводниковых элементов ИЧ и ЛЧ предусматривается специальный источник стабильного напряжения.

#### 4. Элементные базы.

В практике современного релестроения используются три типа элементных баз:

- электромеханическая, которая может использоваться для осуществления всех функциональных частей и органов РЗ в виде электромеханических реле;
- полупроводниковая, которая может использоваться для осуществления всех функциональных частей и органов РЗ в виде полупроводниковых элементов аналоговых и цифровых микросхем;
- микропроцессорная, которая может использоваться для осуществления измерительной и логической частей РЗ на базе микроЭВМ или многопроцессорных систем, основным элементом которых являются микропроцессоры.

#### 1.2 Требования к релейной защите

К релейной защите предъявляются следующие основные требования:

- селективности: релейная защита должна определять поврежденный элемент и подавать команду на локализацию (отключение) этого элемента выключателями, ближайшими к месту повреждения. Например, для сети, изображенной на Рис.4, короткое замыкание в точке К1 должно отключиться выключателями Q6 и Q7, а короткое замыкание в точке К2 должно ликвидироваться при помощи выключателей Q1 и Q3;

• быстродействия: быстрое отключение коротких замыканий позволяет уменьшить размер повреждения оборудования за счет термического и динамического действия токов, снизить влияние понижения напряжения на работу потребителей, повысить вероятность сохранения устойчивости параллельной работы энергосистемы. Защита считается быстродействующей при времени ее срабатывания до 0,1 сек;

• надежности: защита должна обладать аппаратной и функциональной надежностью. Аппаратная надежность обеспечивается надежностью отдельных компонентов, грамотными схемными реализациями и условиями эксплуатации. Функциональная надежность достигается за счет совершенства алгоритма функционирования защиты;

• резервирования: релейная защита объекта в случае отказа основных защит или защит смежных присоединений должна обеспечивать ликвидацию коротких замыканий. Считается, что защита обеспечивает функции ближнего резервирования, если она срабатывает при отказе собственных защит, и

дальнего резервирования - при несрабатывании защитили выключателей смежных элементов;

- чувствительности: защита должна четко фиксировать все виды повреждений, предусмотренные алгоритмом ее функционирования. Наряду с изложенными выше требованиями при выборе и проектировании устройств релейной защиты следует принимать во внимание ряд дополнительных факторов.

#### 5. Основные алгоритмы функционирования защит

По способам обеспечения селективности все защиты можно разделить на две группы:

- защиты с относительной селективностью;
- защиты с абсолютной селективностью.

*Защиты с относительной селективностью* могут работать как при коротких замыканиях на защищаемом объекте, так и при повреждениях на смежных присоединениях в режиме резервирования. К таким защитами относятся токовые защиты, защиты напряжения, дистанционные защиты.

Для иллюстрации принципов работы защит этого типа рассмотрим в качестве защищаемого объекта линию с односторонним питанием (Рис.6)

*Токовые защиты* основаны на фиксации увеличения тока при возникновении короткого замыкания.

*Защиты напряжения* учитывают уменьшение напряжения при коротком замыкании.

*Дистанционные защиты* фиксируют изменение сопротивления. Если учесть, что  $Z_{ЛК} = Z_0 L_K$ , где  $Z_0$  – сопротивление одного км линии, а  $L_K$  - расстояние в км до места короткого замыкания, то сопротивление  $Z_{ЛК}$  пропорционально расстоянию до места короткого замыкания  $Z_{ЛК} \sim L_K$ , следовательно, дистанционный принцип позволяет определить местовозникновения короткого замыкания.

Защиты с относительной селективностью при нормальных условиях работы действуют на отключение выключателей поврежденной линии.

Например, при коротком замыкании в точке  $K_1$  (Рис.6) защита действует на выключатель  $Q_1$ . При коротком замыкании в точке  $K_2$  должна сработать защита *Линии 2*, однако при отказе этой защиты или выключателя  $Q_2$  должна сработать защита *Линии 1* и отключить короткое замыкание выключателем  $Q_1$ .

*Защиты с абсолютной селективностью* работают только при коротком замыкании на защищаемом участке. К таким защитами относятся дифференциальные и дифференциально-фазные защиты.

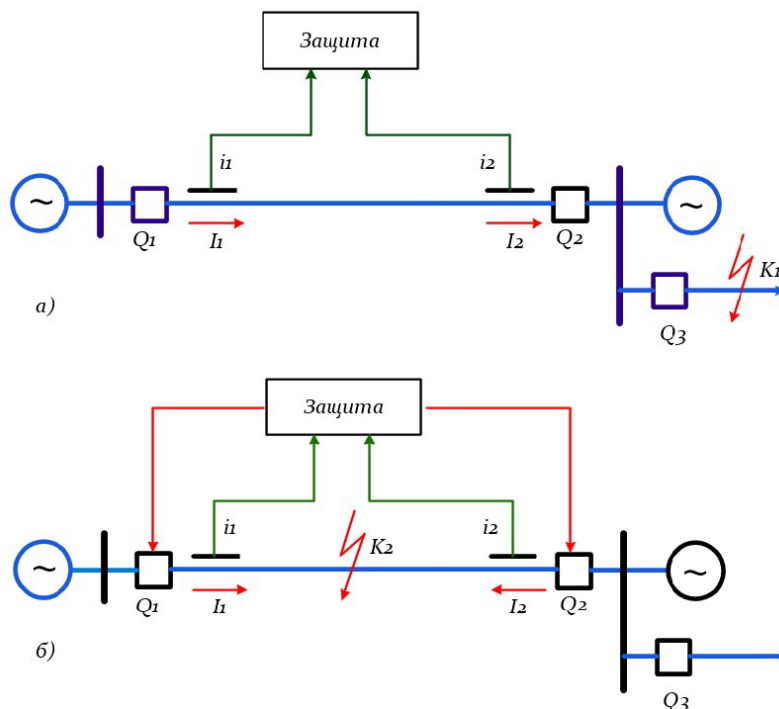
Принцип действия *дифференциальной защиты* основан на сравнении токов на входе и выходе защищаемого объекта.

Рассмотрим функционирование дифференциальной защиты на примере линии с двухсторонним питанием (Рис.7).

В нормальном режиме и в режиме внешнего короткого замыкания в точке  $K_1$ , выполняется соотношение  $I_1 = I_2 = I$ . В защите эти токи сравниваются между собой, и при их равенстве защита не работает.

При возникновении короткого замыкания в зоне действия защиты, например в точке  $K_2$ , в случае одностороннего питания вектор тока  $I_2$  становится равным нулю, равенство токов нарушается, и защита сработает. При наличии

двухстороннего питания значение тока  $I_2 > 0$ , и в принципе модули токов могут оказаться равными, но векторы имеют разные знаки, и защита также будет работать.



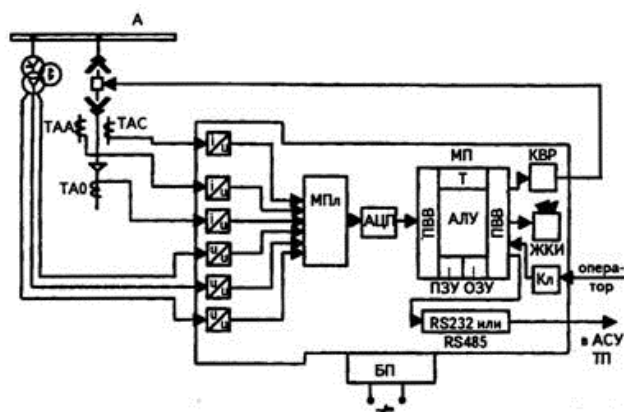
**Рис. 7.** Принцип действия дифференциальной защиты:

а) короткое замыкание вне зоны защиты;

б) короткое замыкание в зоне действия защиты

Принцип дифференциально-фазной защиты основан на сравнении фаз токов на входе и выходе объекта.

#### 4. Микропроцессорные устройства релейной защиты: обзор возможностей и спорных вопросов.



**Рис. 8.** Схема микропроцессорного УРЗ

Около 15 лет назад в энергетике стало массово внедряться новое оборудование для защиты объектов энергоснабжения, использующее компьютерные технологии на базе процессоров. Его стали называть сокращенным термином МУРЗ — микропроцессорные устройства релейной защиты.

Они выполняют функции обыкновенных устройств РЗА на основе новой элементной базы — микроконтроллеров (микропроцессорных элементов).

*Преимущества микропроцессорных устройств релейной защиты*

Отказ от электромеханических и статических реле, обладающих значительными габаритами, позволил более компактно размещать оборудование на панелях РЗА. При этом управление посредством сенсорных кнопок и дисплея стало более наглядным и удобным.

Сейчас внедрение МУРЗ стало одним из основных направлений в развитии устройств релейных защит.

Ряд дополнительных функций:

- регистрация процессов аварийного состояния;
- опережение отключения синхронных потребителей при нарушениях устойчивости системы;
- способность к дальнему резервированию.

Реализация таких возможностей на базе электромеханических защит ЭМЗ и аналоговых устройств не осуществляется ввиду технических сложностей.

Микропроцессорные системы релейной защиты точно работают по тем же принципам быстрого действия, избирательности, чувствительности и надежности, что и обычные устройства РЗА.

*Недостатки*

- высокая стоимость;
- низкая ремонтпригодность

***Высокая надежность микропроцессорных устройств релейной защиты по сравнению с электромеханическими защитами***

Производители микропроцессорных устройств рекламой делают акцент на отсутствие в системе подвижных частей, что связывают с исключением условий механического износа. Сюда же добавляют вопросы коррозии металлов и старение изоляции у конструкций электромеханической и полупроводниковой базы.

Дефекты изоляции и коррозии могут возникнуть только в двух случаях:

- нарушение технологии изготовления;
- отклонение от правил эксплуатации и обслуживания.

В то же время в микропроцессорных устройствах релейной защиты:

- большинство компонентов постоянно осуществляют мониторинг электрической схемы и обмениваются сигналами между собой;

- элементы электрических входов все время подвергаются воздействию высокого напряжения 220 вольт, а также импульсных и пиковых величин переходных процессов;
- блоки питания в/ч импульсной схемы работают без отключения с выделением тепла и формируют основную долю отказов МУРЗ.

*Надежность реле постепенно повышается от электромеханических конструкций к полупроводниковым на дискретных компонентах, затем к интегральным микросхемам и самая высокая у микропроцессорных устройств*

Выводы статистики свидетельствуют о более высокой надежности электромеханических реле перед полупроводниковыми аналогами в повседневной эксплуатации. Обратная картина наблюдается только при увеличении циклов коммутации до нескольких сотен тысяч или миллионов.

*Надежность микропроцессорных устройств релейной защиты повышает встроенная самодиагностика*

В составе микропроцессорных защит работают:

- аналого-цифровые преобразователи;
- память (ПЗУ — ROM + ОЗУ — RAM);
- центральный процессор;
- источник питания;
- выходные электромагнитные реле;
- узлы аналоговых и цифровых входов.

*Трудности эксплуатации*

*Электромагнитная совместимость*

Современная микроэлектроника очень чувствительна к электромагнитным излучениям, а комплекты микропроцессорных устройств релейной защиты устанавливаются на подстанциях, работающих в условиях повышенной напряженности электрического поля, требующей надежной экранированной защиты с отводом накапливаемых потенциалов в землю.

*Выполняемые задачи*

Отказ одной микропроцессорной защиты приводит к более тяжелым последствиям для энергетики, чем неисправность электромагнитных защит потому, что функционально микропроцессорное устройство релейной защиты выполняет задачи 3÷5 электромагнитных защит.

*Подготовка персонала*

При поступлении нового вида микропроцессорных устройств релейной защиты даже того же производителя процесс обучения персонала необходимо возобновлять.

*Выводы*

Микропроцессорные устройства релейной защиты являются действительно прогрессивным направлением развития энергетики.

Провозглашаемая производителями высокая надежность микропроцессорных устройств релейной защиты не всегда соответствует действительности.

**Список литературы:**

1. Копьев В.Н. Релейная защита. Принципы выполнения и применения: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 153 с.
2. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Учебное пособие для техникумов. – М.: Энерготомиздат, 1998. – 800с.: ил.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНОСБОРОЧНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ ИНДУСТРИИ 4.0**

*А. В. Гурьянов, Д.А. Заколдаев, А.В. Шукалов, И.О.Жаринов  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики,  
198095, г.Санкт-Петербург, ул.Маршала Говорова, 40,  
Тел. 8-812-252-2037  
E-mail: mpbva@mail.ru*

Обзор методов проектирования механосборочных производств Индустрии 3.0 показывает [1, 2], что предлагаемые специалистами инженерные методы расчета основаны на итерационной процедуре «поучасткового» проектирования со специализированными критериями качества, соответствующими технологическим операциям изготовления изделий приборостроения. Распространение такого «скаляризационного» подхода на проектные процедуры создания производств предприятий Индустрии 4.0 представляется нецелесообразным, т.к. этот подход допускает возможность появления в процессе решения проектной задачи «конфликта интересов» подсистем (технологических участков) и системы (механосборочного производства) в целом на уровне несогласованных частных и общего критериев качества проекта. Для решения многопараметрической оптимизационной задачи проектирования механосборочного производства целесообразно воспользоваться методом В.Л. Волковича [3], модифицированным для создания производственных комплексов предприятий Индустрии 4.0.

В основе базового метода В.Л. Волковича, основанного на анализе аддитивных сепарабельных критериев, и разработанного для проектирования сложных систем автоматического управления, лежит гипотеза о возможности введения в проектные процедуры частных критериев качества для подсистем (технологические участки) проектируемой системы (механосборочное производство) с последующим расчетом интегрального критерия качества объекта проектирования, вычисляемого аддитивно для всех критериев качества каждой из подсистем. Метод В.Л. Волковича основан на последовательном исключении (отсева) из множества проектных альтернатив вариантов, не удовлетворяющих заданным критериям качества проекта.

Специфическим свойством метода В.Л. Волковича является однородность частных и интегрального критериев качества проекта, что позволяет их